آشنایی با ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب و استانداردهای مربوطه

دسته بندی متغیرهای کیفیت آب

تعریف

متغیر: در صورتی که مقدار عددی یک مشخصه با زمان دارای تغییرات زیاد باشد، آن را متغیر می نامند.

پارامتر: مشخصه هایی که از تغییرات اندکی نسبت به زمان برخوردارند به عنوان پارامتر در نظر گرفته می شوند.

متغیرهای کیفیت آب را می توان به سه دسته اصلی زیر تقسیم نمود:

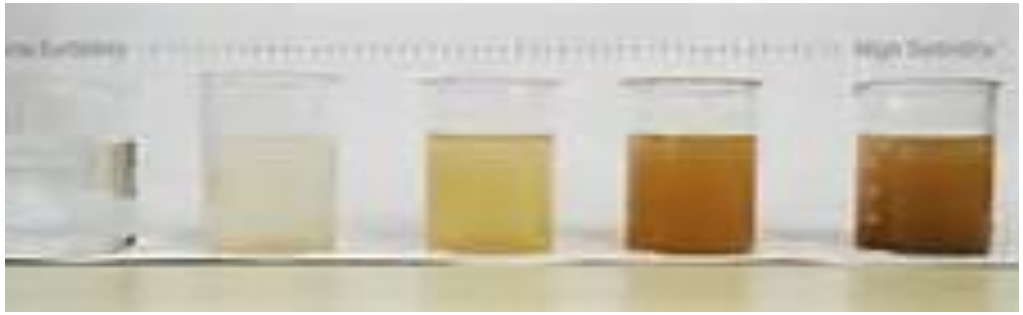
- **متغیرهای فیزیکی**
- **متغیرهای شیمیایی**
- **متغیرهای بیولوژیکی**

دسته بندی متغیرهای کیفیت آب

متغیرهای فیزیکی کیفیت آب (Physical Water Quality Variables)

آن دسته از خصوصیات آب هستند که توسط حواس بینایی، لامسه، چشایی و بویایی تا حدی قابل تشخیص و اندازه گیری می باشند.

لذا متغیرهایی همانند: دما، رنگ، بو و طعم در این دسته قرار می گیرند.



متغیرهای شیمایی کیفیت آب (Chemical Water Quality Variables)

نشان دهنده ناخالصی های محلول در آب می باشند و جهت ارزیابی آن ها لازم است آب با یک روش مناسب مورد آزمایش قرار گیرد.

متغیرهای مانند فلزات محلول، شوری و مواد آلی محلول در این دسته قرار می گیرند.

دسته بندی متغیرهای کیفیت آب

متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب (Biological Water Quality Variables)

بیانگر میکروارگانیزم های موجود در آب و همچنین نشان دهنده میزان احتمال بیماری زایی آب می باشند. میکروارگانیزم های آب طیف وسیعی از باکتری ها، ویروس ها، قارچ ها، پروتوزوا، انگل ها و ... را شامل می شود.

استانداردها و معیارهای کیفیت آب (Water Quality Standards and Criteria)

جهت ارزیابی کیفیت آب برای یک مصرف مشخص از استانداردها و معیارهای کیفیت آب استفاده می شود.

استانداردها (Standards): توسط سازمانهای مرتبط با کیفیت آب وضع می شوند و بیان کننده آستانه هایی برای متغیرهای مختلف کیفیت آب هستند. به علت داشتن پشتوانه قانونی، پیروی از استانداردها اجباری است. الزامی بودن استفاده از استانداردها به معنی این نیست که حتماً دارای پشتوانه علمی می باشند.

دسته بندی متغیرهای کیفیت آب

معیارها (Criteria): آستانه هایی برای متغیرهای کیفیت آب هستند که بر اساس تحقیقات علمی توصیه شده اند ولی پشتوانه قانونی ندارند و استفاده از آنها الزامی نیست.

به عنوان مثال، توصیه های سازمان بهداشت جهانی در مورد کیفیت آب شرب (WHO) را می توان در دسته معیارها طبقه بندی کرد.

متغیرهای فیزیکی کیفیت آب

WATER QUALITY VARIABLES

- Physical Water Quality
  - Total Suspended Solids (TSS)
  - VSS (Volatile Suspended Solids)
  - Water Temperature
  - Turbidity
  - Taste
  - Odor
  - Colour

+ ویژگی های ظاهری آب

TOTAL SUSPENDED SOLIDS (TSS)

جامدات معلق کل (TSS): بیانگر جامداتی هستند که در آب معلق می باشند و توسط یک صافی مناسب می توان به راحتی آن ها را از آب جدا نمود. منابع طبیعی این جامدات، فرسایش و حمل بار رسوب توسط رودخانه ها و منابع مصنوعی آن ها، تخلیه زهاب های کشاورزی به منابع آب سطحی می باشند.

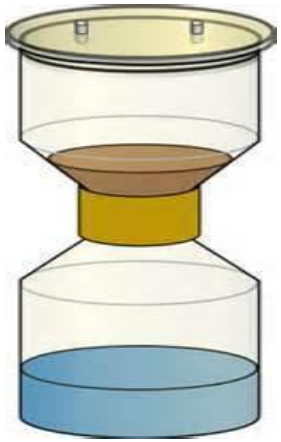
- Total Solids in water and wastewater include suspended solids (> about 1.0 microns) and dissolved solids (< 0.001 micron in size). (**In the LAB Course**)
- Suspended Solids include colloids (0.001 – 1 microns), supra-colloids (1 – 100 microns) and settleable solids (> 100 microns). (**In the LAB Course**)

ذرات قابل ته نشینی

TOTAL SUSPENDED SOLIDS (TSS)

نحوه اندازه گیری جامدات معلق کل (TSS):

آب با یک حجم مشخص از یک صافی مخصوص عبور داده می شود و جامدات معلق باقیمانده روی صافی در دمای ۱۰۴ درجه سانتی گراد کاملاً خشک می شوند. با توجه به جرم جامدات خشک شده و حجم آب، غلظت جامدات معلق کل بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/L) محاسبه می شود.



TOTAL SUSPENDED SOLIDS (TSS)

بر اساس استاندارد تخلیه فاضلاب ایران، غلظت حداکثر مجاز TSS اگر فاضلاب یا پساب به آب سطحی تخلیه می شود برابر با ۴۰ میلی گرم در لیتر و اگر به مصرف کشاورزی می رسد، برابر با ۱۰۰ میلی گرم در لیتر است. برای تخلیه فاضلاب یا پساب در چاه، از نظر غلظت TSS محدودیتی وجود ندارد چون خاک به سرعت آنرا جذب خواهد کرد.

VOLATILE SUSPENDED SOLIDS (VSS)

جامدات فرار شاخصی از مواد آلی معلق در آب هستند و در تصفیه آب های آلوده به آلاینده های آلی یا تصفیه فاضلاب ها یک متغیر کیفی مهم محسوب می شوند زیرا لازم است در تصفیه خانه ها، مواد آلی حذف شوند.

VOLATILE SUSPENDED SOLIDS (VSS)

نحوه اندازه گیری: اگر جامدات حاصل از آزمایش (TSS جامدات خشک شده در دمای ۱۰۴ درجه سانتی گراد) را تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت حرارت دهیم، بخش مربوط به جامدات آلی می سوزند و به صورت دود خارج می شوند. بنابراین جرم جامدات کاهش می یابد. اگر میزان کاهش جرم بر حجم اولیه آب نمونه تقسیم شود، غلظت جامدات فرار بر حسب میلی گرم در لیتر به دست خواهد آمد. در استاندارد تخلیه فاضلاب ایران مقدار حداکثر مجازی برای این متغیر ذکر نشده است.

104 C

۶۰۰ C

$\Delta m = ?$

WATER TEMPERATURE

دمای آب به دلایل زیر متغیر کیفی مهمی است:

- **در سرعت واکنش های شیمیایی و بیولوژیکی در محیط آب تأثیر قابل توجهی دارد. با افزایش دما برخی واکنش ها تسریع و برخی کند می شوند.**
- **دما می تواند در تنوع زیستی (Biodiversity) گونه های آبزی مؤثر باشد. به طوری که با تغییر دمای آب به صورت طبیعی یا مصنوعی ممکن است گونه هایی از بین بروند و گونه های جدیدی تکثیر یابند.**
- **دمای آب در حلالیت گازهایی مانند اکسیژن مؤثر است که این امر برای حیات آبزیان اهمیت ویژه ای دارد.**
- **با افزایش دما در آب های طبیعی، معمولاً رشد جبلک ها بیشتر می شود و جلبک ها در طعم و بوی آب و شکل ظاهری تأثیر نامطلوب می گذارند. همچنین جلبک ها در تغییرات غلظت اکسیژن محلول آب مؤثرند.**
- **دما در خواص فیزیکی آب نیز مؤثر است. چگالی (دانسیته آب) در دمای ۴ درجه سانتی گراد حداکثر است که می تواند پدیده واژگونی (Turn over) در مخزن را در پی داشته باشد.**

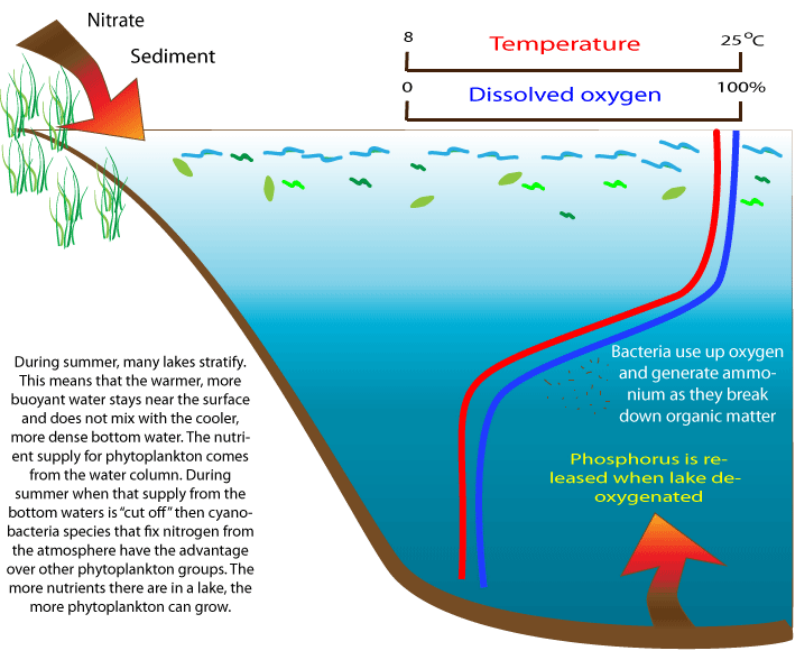
WATER TEMPERATURE

استاندارد دمای آب

در استاندارد آب شرب ایران ، آستانه ای برای دما ذکر نشده است ولی در استاندارد تخلیه فاضلاب یا پساب به محیط های آبی ذکر شده است که فاضلاب یا پساب نباید دمای محیط آبی پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری محل تخلیه بیش از سه درجه سلسیوس افزایش دهد.

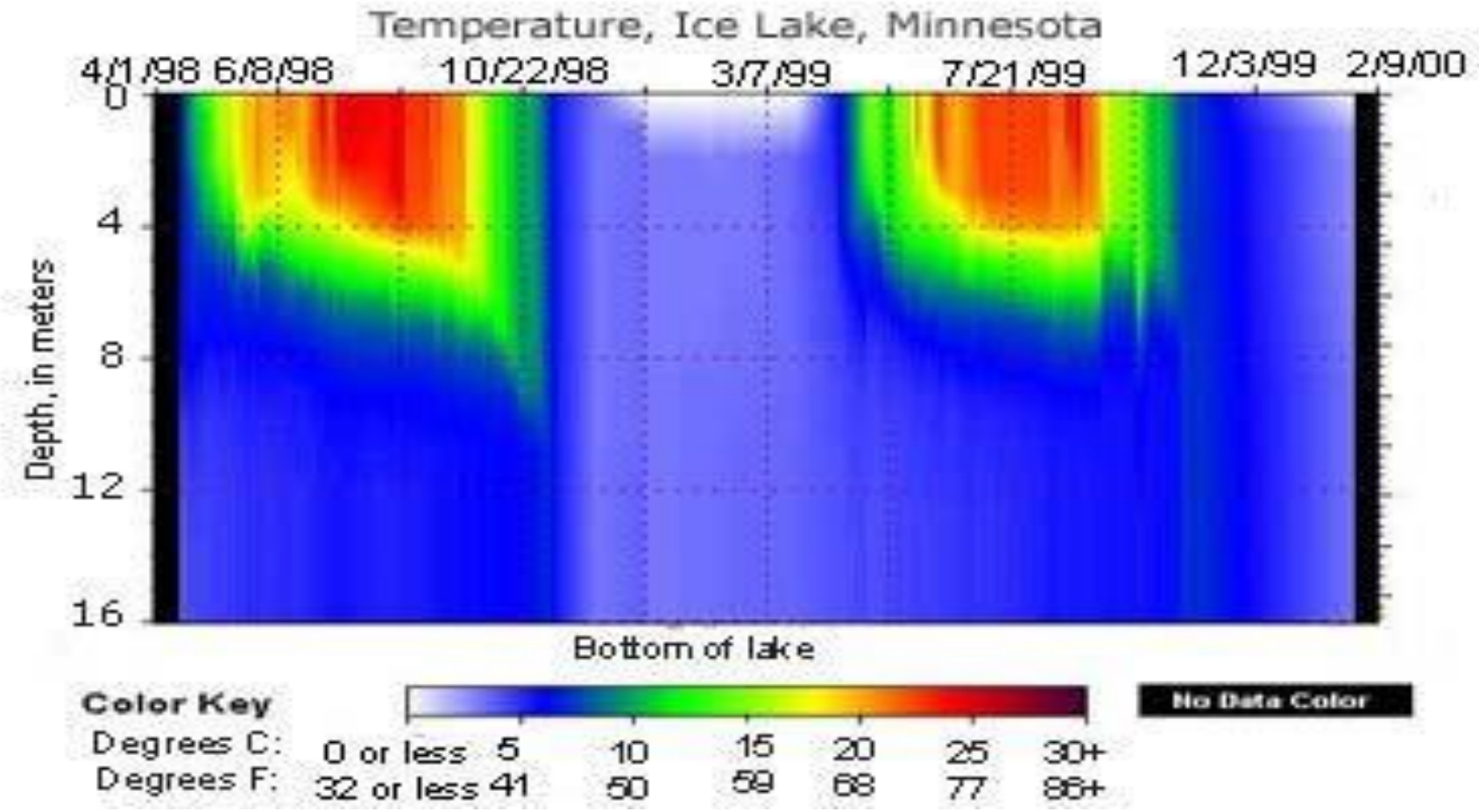
لایه بندی حرارتی (Thermal Stratification)

دمای آب و غلظت اکسیژن محلول آب در ماه هایی از سال با عمق تغییر می کنند. از آنجا که لایه های آب از سطح تا عمق دماهای مختلفی دارند، می توان گفت در ماه هایی از سال در مخازن و دریاچه ها لایه بندی حرارتی وجود دارد.



WATER TEMPERATURE

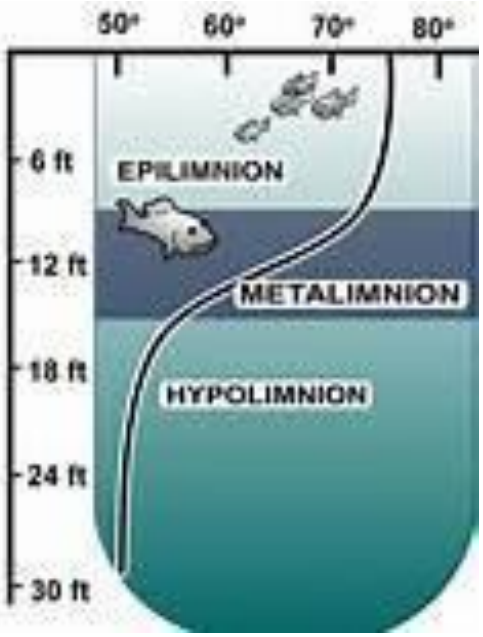
اندازه گیری دما در عمق یک دریاچه در زمان های مختلف نشان دهنده وجود لایه بندی حرارتی در تابستان ها است.



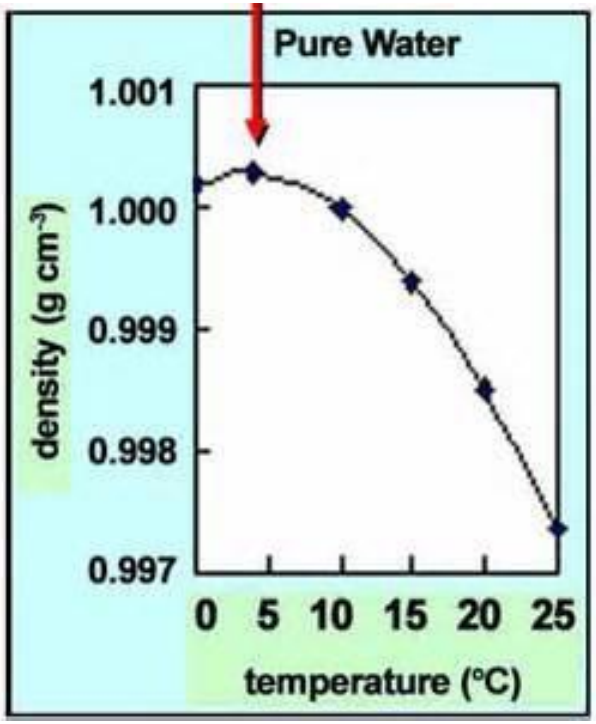
WATER TEMPERATURE

لایه بندی حرارتی (Thermal Stratification)

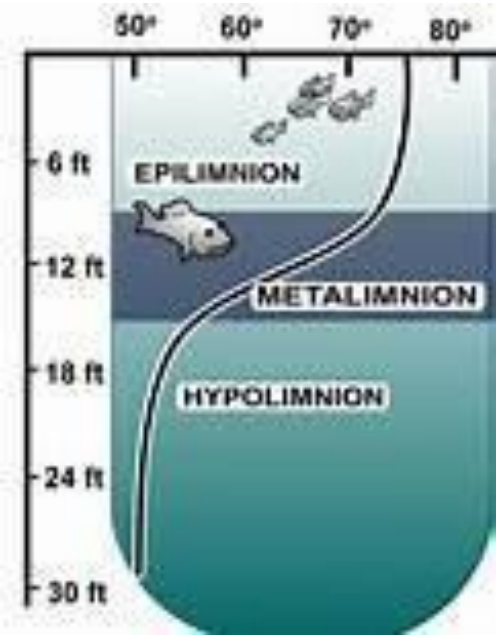
وقتی لایه بندی حرارتی وجود دارد، لایه پر اکسیژن بالایی اپیلیمنیون نامیده می شود. لایه میانی که در آن تغییرات دمای آب در عمق شدید است، متالیمنیون نامیده می شود. لایه کم اکسیژن زیرین نیز هایپولیمنیون نامیده می شود. در دو لایه بالایی و زیرین، تغییرات دمای آب در عمق ناچیز است. در لایه زیرین به علت کمبود اکسیژن، ماهیان کمتری وجود دارند.



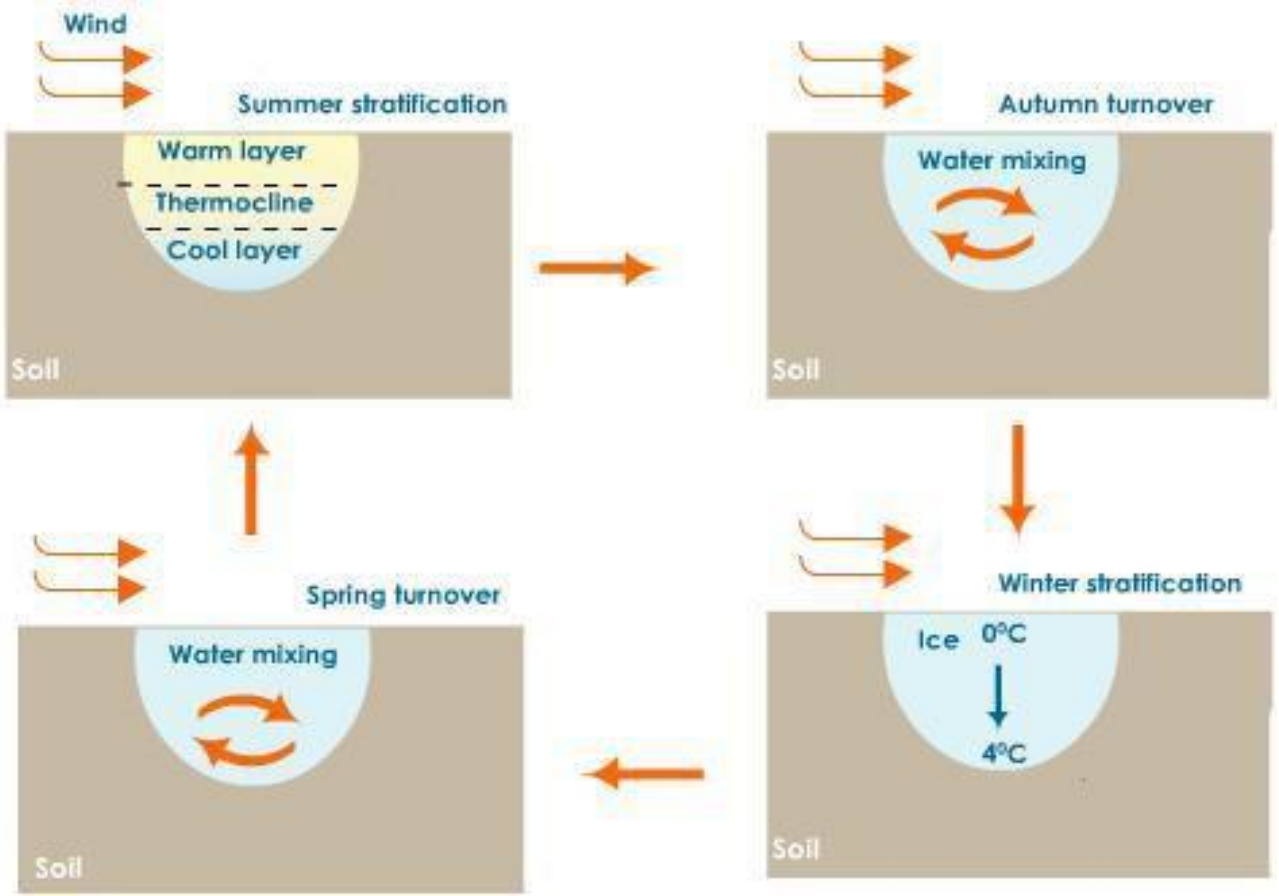
به علت تغییرات منحصر به فرد چگالی آب با دما، زمانی که لایه بندی حرارتی وجود دارد، لایه بندی چگالی نیز دیده می شود.



WATER TEMPERATURE

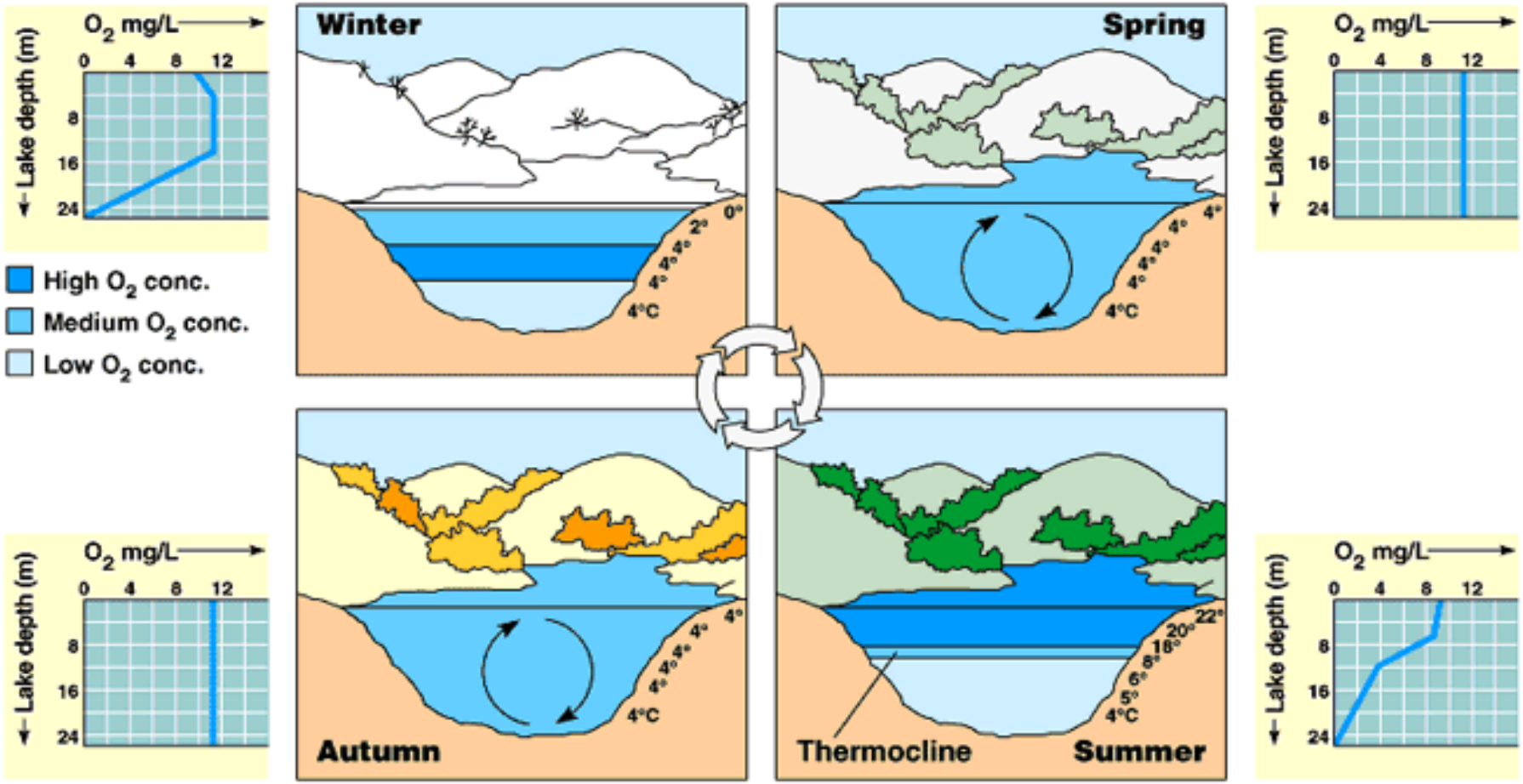


در تابستانهای گرم و زمستان های خیلی سرد، لایه های بالایی به ترتیب گرم تر و سردتر (با دمای زیر چهار درجه) هستند. بنابراین لایه های سبک تر بالا قرار گرفته اند و لایه بندی قوی ای شکل می گیرد که با وزش باد از بین نمی رود.



WATER TEMPERATURE

لایه بندی حرارتی تابستانه و زمستانه، واژگونی های بهاره و پاییزه و تغییرات غلظت اکسیژن محلول در عمق مخزن



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

WATER TEMPERATURE

مثال اختلاف چگالی در عمق و اثر آن بر لایه بندی کیفیت آب

زمانی که اختلاف دانسیته در عمق ناچیز است، آلاینده ها به راحتی به علت یک اختلاط کم در آب پخش می شوند. در صورتی که اختلاف دانسیته زیاد باشد (مانند وجود دو لایه آب و روغن)، اگر آلاینده ای (مثلاً جوهر) با غلظت کم در یک فاز تزریق شود، تنها در آن فاز پخش می شود و وارد فاز دیگر نمی شود. بنابراین لایه بندی چگالی، یک لایه بندی کیفی ایجاد می کند.

WATER TEMPERATURE

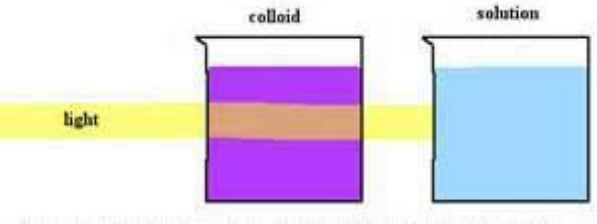
به علت تغییرات دمای آب در عمق، چگالی آب در عمق نیز تغییر می کند. در صورت وجود تغییرات دانسیته در عمق، کیفیت آب در مخزن نیز در لایه های مختلف یکسان نخواهد بود و یک لایه بندی کیفیت آب نیز وجود خواهد داشت.

به عنوان مثال در تابستان ها، در صورت وجود لایه بندی حرارتی، ممکن است اکسیژن محلول در لایه های زیرین مخزن به شدت کاهش یابد و باعث مرگ آبزیان و افت شدید کیفیت آب شود.

در طراحی تراز و ظرفیت آبگیرهای مخازن سدها باید لایه بندی حرارتی و لایه بندی کیفیت آب در مخزن مورد توجه قرار گیرد.

TURBIDITY

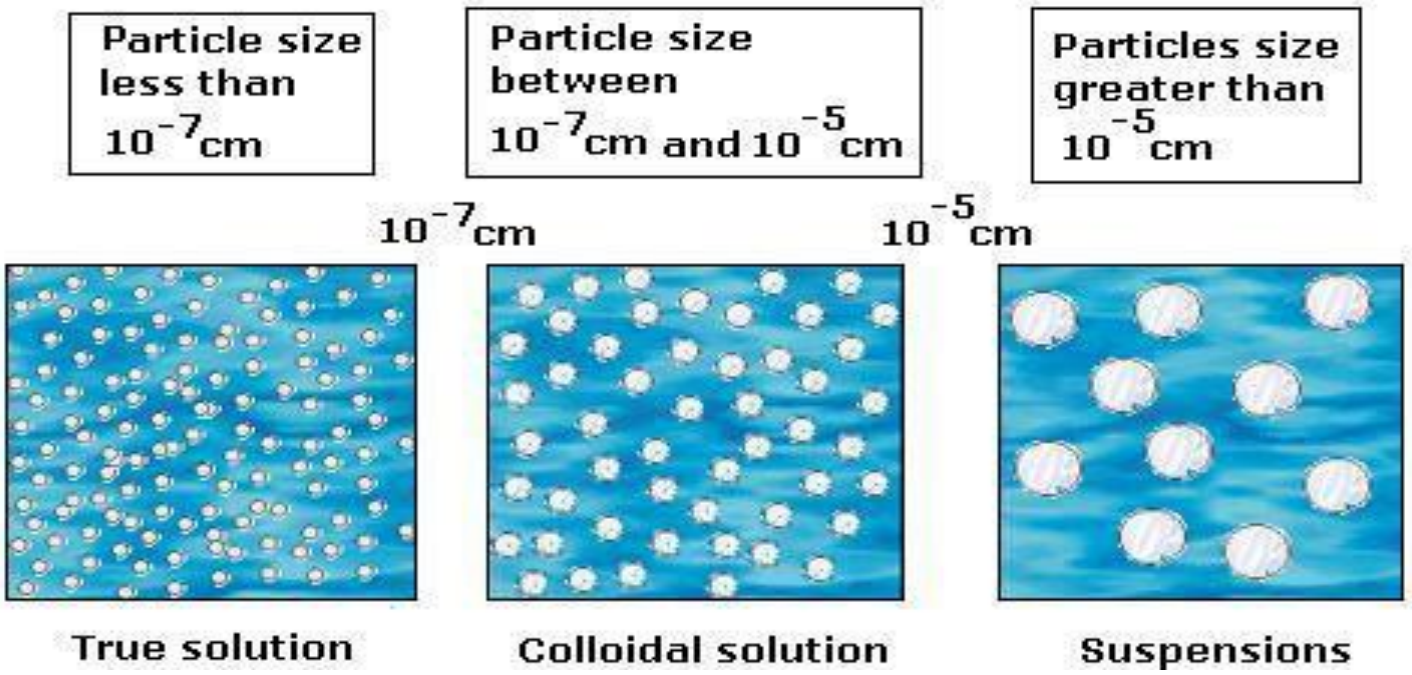
عامل کدورت، ذرات کلوئیدی موجود در آب هستند که باعث جذب و پخش نور می شوند.



TURBIDITY

- Turbidity is a physical characteristic of water that makes water appears cloudy.
- Turbidity is caused by colloidal materials (e.g. clay, silt, metal oxides, micro-organisms, fibers, oils and soaps)

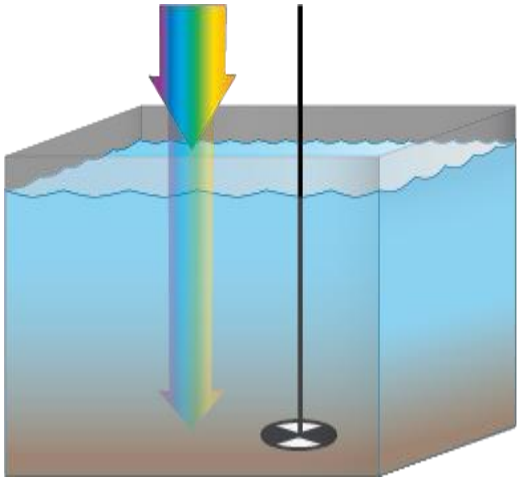
ذرات کلوئیدی بر اساس اندازه به صورت زیر تقسیم بندی می شوند:

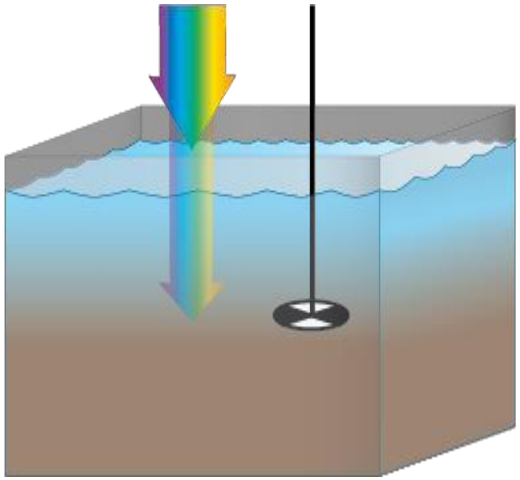


کاملاً حل شده **محلول کلوئیدی** **سوسپانسیون (ذرات معلق)**

TURBIDITY

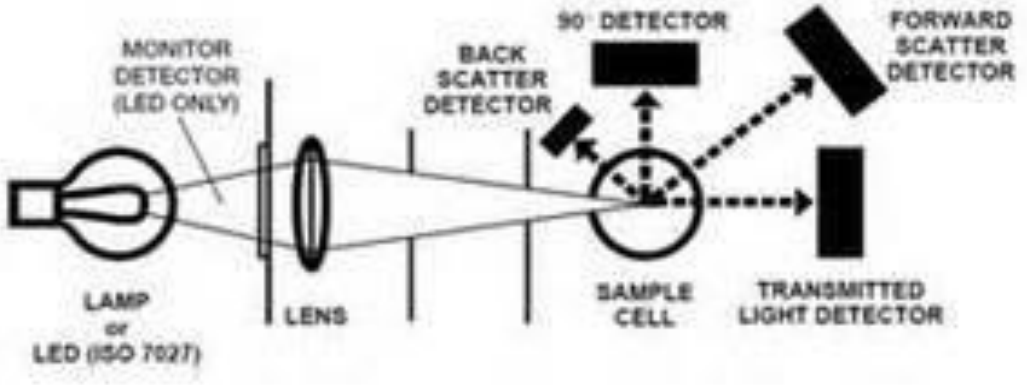
یکی از راه های سنجش کدورت، استفاده از دیسک سکی (Secchi Disk) است. قطر این دیسک ۲۰ سانتی متر است و هر چه حداکثر عمق قابل دیدن دیسک بیشتر باشد آب شفاف تر است. اگر حداکثر عمق قابل دیدن دیسک زیر سه متر باشد، کدورت آب زیاد است.





TURBIDITY

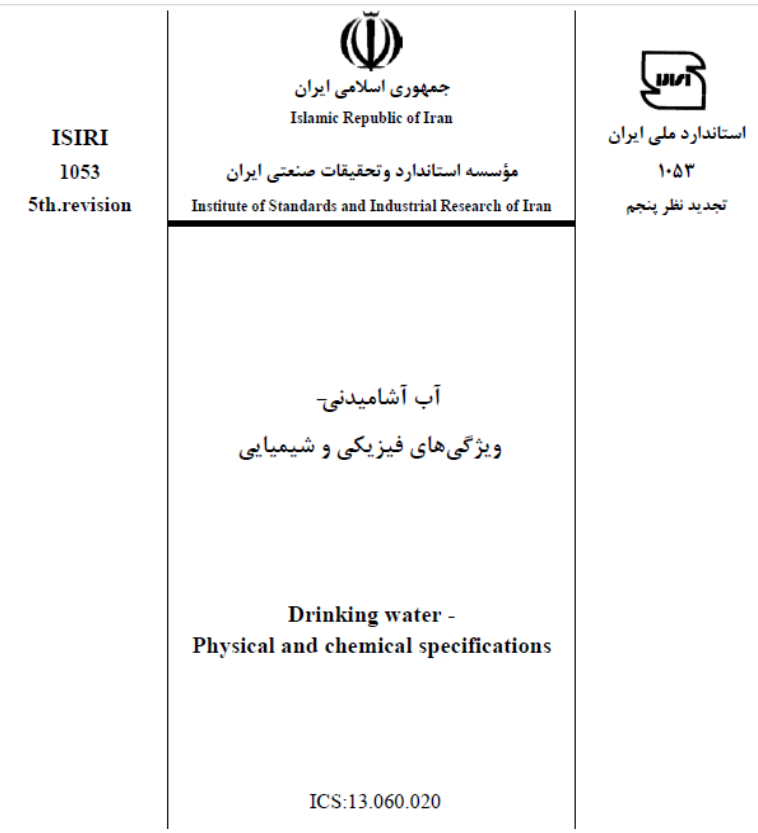
روش دیگر سنجش کدورت، آزمایش نفلومتری (Nephlometric Turbidimeter) است که در آن میزان پراکنش نور در زاویه نود درجه نسبت به مسیر تابش نور، مبنای سنجش کدورت است.



دستگاه نفلومتری را باید توسط نمونه های استاندارد کالیبره کرد. نمونه های استانداردها با غلظت های مختلف ماده فرمازین (Formazin) پر شده اند. واحد کدورت آب NTU (Nephelometric Turbidity Unit) یا FTU (Formazin Turbidity Unit) است که از نظر مفهوم و اندازه یکسان هستند. دستگاه نفلومتری کدورت آب را در مقایسه با کدورت نمونه های استاندارد ارائه می کند.

TURBIDITY

در استاندارد آب شرب ایران حداکثر کدورت مجاز برابر با ۵ NTU و حداکثر کدورت مطلوب برابر با ۱ NTU است. فایل استاندارد آب شرب ایران در اینترنت قابل دانلود است.


ISIRI
1053
5th.revision

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران
۱۰۵۳
تجدید نظر پنجم

آب آشامیدنی-
ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

Drinking water -
Physical and chemical specifications

ICS:13.060.020

آب با کیفیت حد مطلوب: برای نوعی از آب تعریف می شود که تمام پارامترهای آن در محدوده استاندارد و مطلوب قرار گرفته و در صورت بالا رفتن میزان اندکی آلاینده، سطح کیفی آب کاهش می یابد اما هنوز هم برای آشامیدن مناسب است.

آب با کیفیت حد مجاز: در این نوع آب میزان پارامترها به اندازه ای است که برای انسان زیان آور نیست و معمولاً آن را بر اساس میزان آبی که در روز مصرف می شود تعیین می کنند. به این صورت که اگر فردی مقدار زیادی از این نوع آب را مصرف کند ممکن است مشکلاتی را ایجاد کند.

TASTE

طعم آب معمولاً ناشی از وجود مواد قلیایی، اسیدی و نمک های فلزی در آب است.

- **طعم حاصل از مواد قلیایی: تلخ**
- **طعم حاصل از مواد اسیدی: ترش**
- **طعم حاصل از نمک های فلزی مانند نمک طعام: شور یا تلخ**

برای طعم آب استانداردی وجود ندارد ولی نباید طعم آب نارضایتی مصرف کنندگان را در پی داشته باشد.

معمولاً ترکیباتی که در آب ایجاد بو می کنند مانند (H_2S) طعم آب را هم تغییر می دهند ولی عکس آن صادق نیست.

ODOR

برای تخمین بوی آب از آزمون آستانه بویایی استفاده می شود.

در این آزمایش با استفاده از آب مقطر، آب دارای بو و یک ظرف ۲۰۰ میلی لیتری، نمونه هایی آب رقیق شده مختلفی درست می شود. آستانه بویایی، متناظر با حداقل غلظتی از آب دارای بو در ظرف (حداقل مقدار A) است که بوی آن توسط شخص آزمایش کننده احساس می شود.

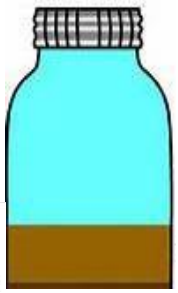
مقدار عددی آستانه بویایی توسط رابطه زیر محاسبه می شود:

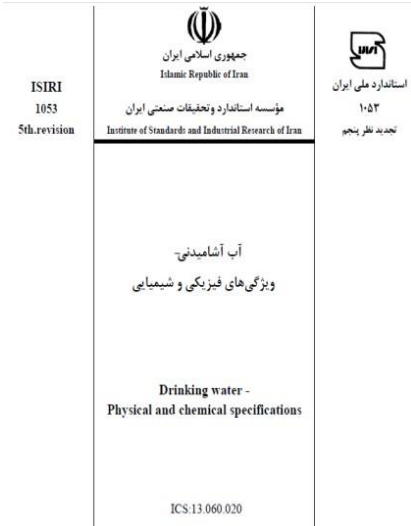
$$TON = \frac{A + B}{A}$$

TON: **عدد آستانه بویایی (Threshold Odor Number)**

A: **حجم آب دارای بو در ظرف (mL)**

B: **حجم آب مقطر استفاده شده برای رقیق سازی در ظرف (mL)**





$$A + B = 200\ mL$$

هر چه آستانه بویایی به یک نزدیک تر باشد آب تمیزتر و هر چه به ۲۰۰ نزدیکتر باشد آب بودارتر است. بویایی آب با دمای آب می تواند تغییر کند. در استاندارد آب شرب ایران حداکثر بویایی مجاز برابر با 2TON در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و برابر با 3TON در دمای ۲۰ درجه سلسیوس است.

COLOR

رنگ آب در صورتی که ناشی از مواد معلق موجود در آب باشد و با فیلتر کردن مواد معلق از بین برود به آن رنگ ظاهری (**Apparent Color**) می گویند.

در صورتی که رنگ آب ناشی از مواد محلول آب باشد به آن رنگ حقیقی (**True Color**) می گویند. معمولاً رنگ آبهای طبیعی زیرزمینی ناشی از وجود اکسید آهن و اکسید منگنز است. اکسید آهن به آب رنگ قرمز کم رنگ می دهد و اکسید منگنز رنگ آب را قهوه ای تیره می کند. تجزیه مواد آلی در آب اسیدهای آلی مانند **Gallic Acid** و **Humic Acid** ایجاد می کند که به آب رنگ زرد یا زرد مایل به قهوه ای می دهند.

- Types
  - True color: caused by dissolved solids
  - Apparent color: caused by suspended solids and includes true color.
- Sources
  - Natural Minerals (e.g. iron and manganese brown and tan color)
  - Decay of Organic Matter (e.g. leaves, woods)
  - Colored industrial wastes (e.g. wastes from textile and dying industries).
- Measurement
  - Visual Comparison with standard platinum-cobalt solution.
  - Colorimeters or spectrophotometers.
  - True Color Unit (TCU).

رنگ برنزه

رنگ قهوه ای مایل به زرد

منسوجات (پارچه)

COLOR

در استاندارد آب شرب ایران، حداکثر عدد رنگ حقیقی آب برابر با 15 TCU تعیین شده است.

TCU: True Color Unit

نمونه هایی از رنگ های استاندارد

ویژگی های ظاهری آب

بر اساس استاندارد آب شرب ایران، آب باید فاقد هر گونه مواد خارجی قابل رویت مانند روغن و ذرات معلق باشد.

متغیرهای شیمیایی کیفیت آب

Chemical Water Quality

- Total Dissolved Solids
- Hydrogen Ion Concentration and pH
- Alkalinity
- Hardness
- Fe and Manganese
- Etc.

جامدات محلول کل (TDS: TOTAL DISSOLVED SOLIDS)

نشان دهنده میزان جامدات حل شده در آب است و واحد آن نیز mg/L می باشد.

برای اندازه گیری آن دو روش وجود دارد:

۱) تبخیر آب عبور داده شده از فیلتر مخصوص و اندازه گیری جرم املاح باقی مانده در ظرف

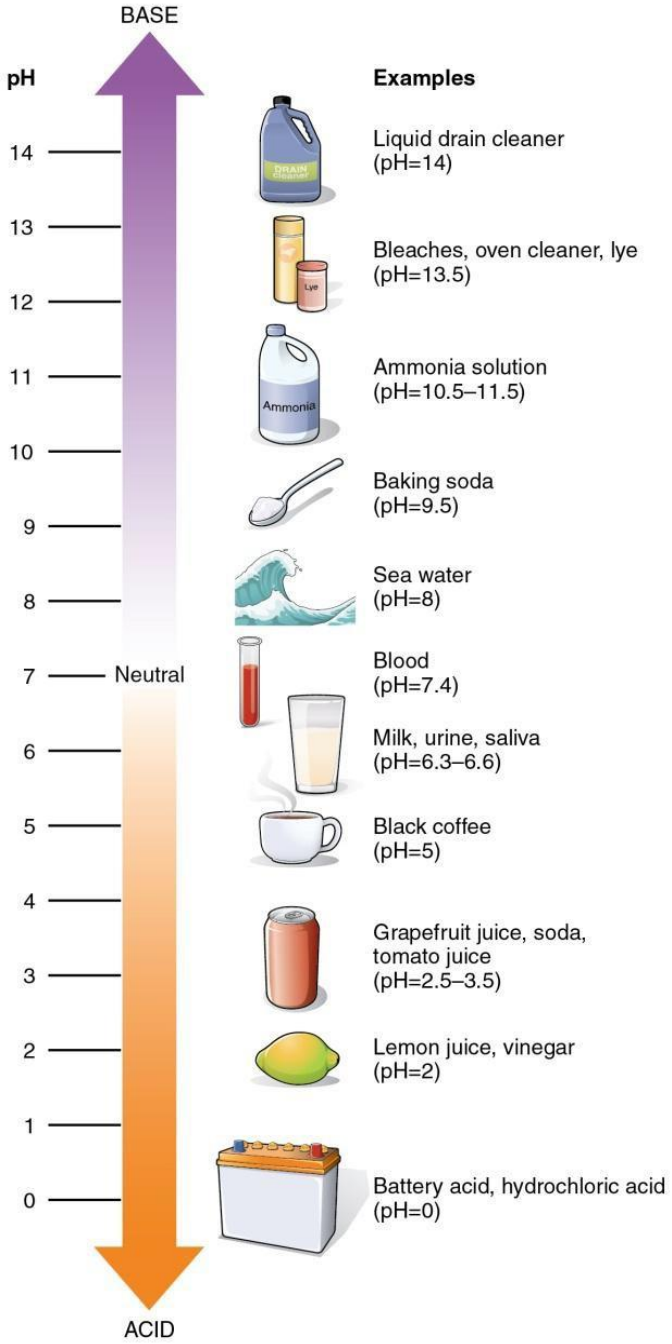
۲) اندازه گیری هدایت الکتریکی آب و تخمین میزان جامدات محلول آب

یون هایی که بخش عمده ای از TDS را شامل می شوند عبارتند از: سدیم، کلسیم، منیزیم، بی کربنات، سولفات و کلراید

بر اساس استاندارد آب شرب ایران، حداکثر مطلوب TDS آب برابر با ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر و حداکثر مجاز آن برابر با ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر می باشد.

مهندسین اصطلاحاً به TDSآب، شوری آب نیز می گویند که اصطلاح دقیقی نیست. البته در اکثر موارد آب هایی که TDS زیادی دارند، شور مزه هستند.

PH



pH شاخصی از اسیدی یا بازی بودن آب است.

بر اساس استاندارد آب شرب ایران، محدوده مطلوب pH آب شرب بین ۶/۵ تا ۸/۵ و محدوده مجاز آن بین ۶/۵ تا ۹ است.

هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)

شاخصی از میزان رسانایی آب است. از آنجایی که رسانایی آب تابعی از یون های موجود در آب است، هدایت الکتریکی می تواند نشان دهنده میزان یون های موجود در آب یا میزان مواد حل شده در آب باشد.

EC

از آنجا که هدایت الکتریکی آب بر حسب زیمنس بر متر، عدد کوچکی خواهد شد، در عمل از واحد میکرو زیمنس بر سانتی متر برای هدایت الکتریکی استفاده می شود.

با اندازه گیری هدایت الکتریکی، می توان با دقت خوبی غلظت جامدات محلول کل را تخمین زد:

$$\text{TDS} \approx 0.64\, EC$$

TDS: غلظت جامدات محلول کل (میلی گرم در لیتر)

EC: هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی متر)

از آنجا که برخی مواد (چون برخی مواد آبی) به صورت ملکولی در آب حل می شوند و تأثیری در هدایت الکتریکی آب ندارند، رابطه فوق می تواند کاملاً دقیق نباشد ولی برای کاربردهای مهندسی دقت آن خوب است.

با افزایش دما، هدایت الکتریکی آب به میزان کمی افزایش می یابد.

بر اساس استاندارد آب شرب ایران، میزان هدایت الکتریکی آب شرب باید کمتر از ۲۳۴۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر باشد. این مقدار معادل TDSبرابر با ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر است.

قلیائیت آب

قلیائیت آب (Alkalinity)

قلیائیت نشان دهنده مقدار یونهایی در آب است که برای خنثی سازی یونهای هیدروژن در واکنش شرکت می کنند.

قلیائیت توانایی آب را در خنثی کردن اسیدها نشان می دهد.

ترکیبات اصلی عامل قلیائیت بنیانهای شیمیایی کربنات (CO_3^{2-})، هیدروکسید (OH^-)، بی کربنات (HCO_3^-) هستند.

از آنجا که عوامل قلیائیت متعدد هستند، معمولاً تک تک آن متغیرها را اندازه گیری نمی کنند بلکه به روشی یکجا کل آنها را اندازه گیری می کنند و غلظت معادل همه آنها را بر حسب کربنات کلسیم ارائه می کنند.

این روش برخورد با متغیرهای کیفی ای که عوامل مختلفی دارند (مانند سختی آب) رایج است.

قلیائیت آب

یک اکی والان (Equivalnet) از یک ماده برابر مقداری از آن ماده است که می تواند با یک مول یون هیدروژن واکنش دهد.

جرم یک اکی والان از هر ماده را اکی والان جرمی یا جرم اکی والان (Equivalent weight) می نامند. به عنوان مثال جرم هر اکی والان کربنات کلسیم برابر با ۵۰ = ۱۰۰/۲ گرم است زیرا جرم ملکولی (جرم یک مول) کربنات کلسیم ۱۰۰ گرم است و بخش کربنات آن (CO_3) با ظرفیت منهای دو می تواند با دو مول هیدروژن واکنش دهد. بنابراین ۵۰ گرم کربنات می تواند با یک مول هیدروژن واکنش دهد.

قلیائیت برای سنجش خاصیت بافری آب استفاده می شود. خاصیت بافری نشان دهنده توانایی آب در جلوگیری از کاهش شدید pH در صورت ورود یک اسید قوی به آب است. بنابراین در یک محلول بافر، تغییرات pH کم است.

در استاندارد تخلیه فاضلاب ایران و استاندارد کیفیت آب شرب ایران محدودیتی برای قلیائیت ذکر نشده است ولی در راهنمای کیفیت آب صنعتی ایران ذکر شده است که قلیائیت باید کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر معادل $CaCO_3$ برای کاربردهای صنعتی عمومی (مانند شستشو) و کمتر از ۵۰ میلی گرم در لیتر برای کاربری های حساس (مانند صنایع الکترونیک) باشد.

سختی آب (HARDNESS)

عامل سختی، وجود یون های فلزی چند ظرفیتی در آب است.

یون های مهم عامل سختی عبارتند از Mg^{+2} ، Ca^{+2} ، Al^{+2} ، Fe^{+2} ، Mn^{+2}

یون های غالب عامل سختی منیزیم و کلسیم هستند.

اگر عوامل ایجاد سختی همراه با بنیانهای کربنات (CO_3^{-2}) یا بی کربنات (HCO_3^-) باشند، چون واکنش حلالیت ترکیب گرمازا است، با افزایش دما حلالیت آن کم می شود و ترسیب می شود. به این نوع سختی که با افزایش دمای آب کاهش می یابد، سختی کربناته می گویند. سختی غیرکربناته مثلاً سختی حاصل از **MgSO4** با افزایش دما کاهش نمی یابد.

مشکلات آب سخت:

- رسوبگذاری در ظرفشویی ها و دستشویی ها
- رسوبگذاری روی پوست بدن و ایجاد حساسیت
- رسوبگذاری در آبگرمکن ها، برجهای خنک کننده و لوله های آب داغ

در استاندارد آب شرب ایران، حداکثر مجاز سختی آب برابر با ۵۰۰ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم و حداکثر مطلوب آن، ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم است. حداکثرهای مجاز و مطلوب بر اساس ملاحظات اقتصادی مانند رسوب گذاری در لوله ها ذکر شده اند نه مشکلات بهداشتی.

- اگر سختی آب کم باشد (مثلاً کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر معادل کربنات کلسیم)، خاصیت بافری آب کم است و ممکن است به علت افت **pH** آب، میزان خورندگی لوله ها زیاد شود.

فلزات (METALS)

فلزات را از نظر اثرات بهداشتی می توان به دو دسته فلزات سمی و غیر سمی تقسیم بندی کرد.

فلزات سمی، در غلظتهای خیلی کم (در حد چند هزارم میلی گرم در لیتر یا چند ppb) نیز می توانند در صورت استفاده طولانی مدت از آب مشکل بهداشتی ایجاد کنند. علت این موضوع این است که فلزات سمی قابلیت تجمع در بافت بدن انسان، حیوانات و گیاهان را دارند و غلظت آنها پس از مدتی در بافت ها زیاد می شود.

با افزایش غلظت فلزات، آنها به عنوان کاتالیزور فرآیندهایی عمل می کنند که می توانند بافت ها را تخریب کنند.

فلزات سمی چون معمولاً جرم اتمی زیادی دارند، به فلزات سنگین (Heavy Metals) معروف هستند.

چند فلز سنگین معروف و جرم اتمی آنها عبارتند از:

آرسنیک (۷۵)، باریم (۱۳۷)، کادمیوم (۱۱۲)، کروم (۵۲)، سرب (۲۰۷)، جیوه (۲۰۰)، نقره (۱۰۷)

عامل اصلی وجود فلزات در آب فاضلاب های صنعتی، زهاب های کشاورزی و فرسایش است. اندازه گیری فلزات معمولاً با دستگاه طیف سنجی جذب اتمی صورت می گیرد و پر هزینه است.

Atomic Adsorption Spectrophotometer

فلزات (METALS)

اساس طیف سنجی جذب اتمی

در این روش، الکترون های اتم های فلز با جذب نور با طول موج مشخصی می توانند به سطوح بالاتر انرژی بروند و برای مدت کوتاهی به حالت برانگیخته در بیایند. این مقدار انرژی جذب شده برای هر اتم با اتم دیگر متفاوت است. به زبان دیگر هر عنصری فقط به یک طول موج مشخص پاسخ می دهد. با اندازه گیری میزان انرژی جذب شده، می توان نوع و غلظت فلز را تخمین زد.

از فلزات غیرسمی معروف می توان به سدیم، منیزیم، کلسیم، آهن، منگنز، آلومینیوم، مس و روی اشاره کرد.

بسیاری از این فلزات غیر سمی، قبل از اینکه غلظت آنها به مرز سمیت برسد در آب ایجاد رنگ یا طعم نامطلوب می کنند. بنابراین معمولاً مشکل بهداشتی جدی ای ایجاد نمی کنند.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مواد آلی می توانند به دو صورت تجزیه پذیر و تجزیه ناپذیر توسط میکروارگانیزم ها وجود داشته باشند.

یکی از اثرات زیست محیطی آلاینده های آلی در محیط، مصرف اکسیژن محلول در محیط های آبی است که می تواند مرگ و میر آبزیان را در پی داشته باشد.

Biochemical Oxygen Demand (BOD) که نشان دهنده میزان اکسیژن مصرفی در حین فرآیند تجزیه بیولوژیکی مواد آلی است، می تواند شاخصی از غلظت مواد آلی تجزیه پذیر موجود باشد.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

معمولاً از BOD پنج روزه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به عنوان یک متغیر شاخص برای اندازه گیری مواد آلی تجزیه پذیر استفاده می شود.

مقادیر BOD_5 نمونه های فاضلاب بین ۲۵۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در لیتر است. بنابراین یک لیتر فاضلاب می تواند در فرآیند تجزیه اش توسط میکروارگانیزم ها حداقل ۲۵۰ میلی گرم اکسیژن محلول را مصرف کند. این موضوع در حالی است که حداکثر غلظت اکسیژن محلول در آب های جاری در حدود ۱۰ میلی گرم در لیتر است.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، یکی از مشکلات وجود آلاینده آلی در رودخانه ها و دریاچه ها، مصرف اکسیژن محلول آب توسط میکروارگانیزم هایی است که این آلاینده ها را تجزیه می کنند.

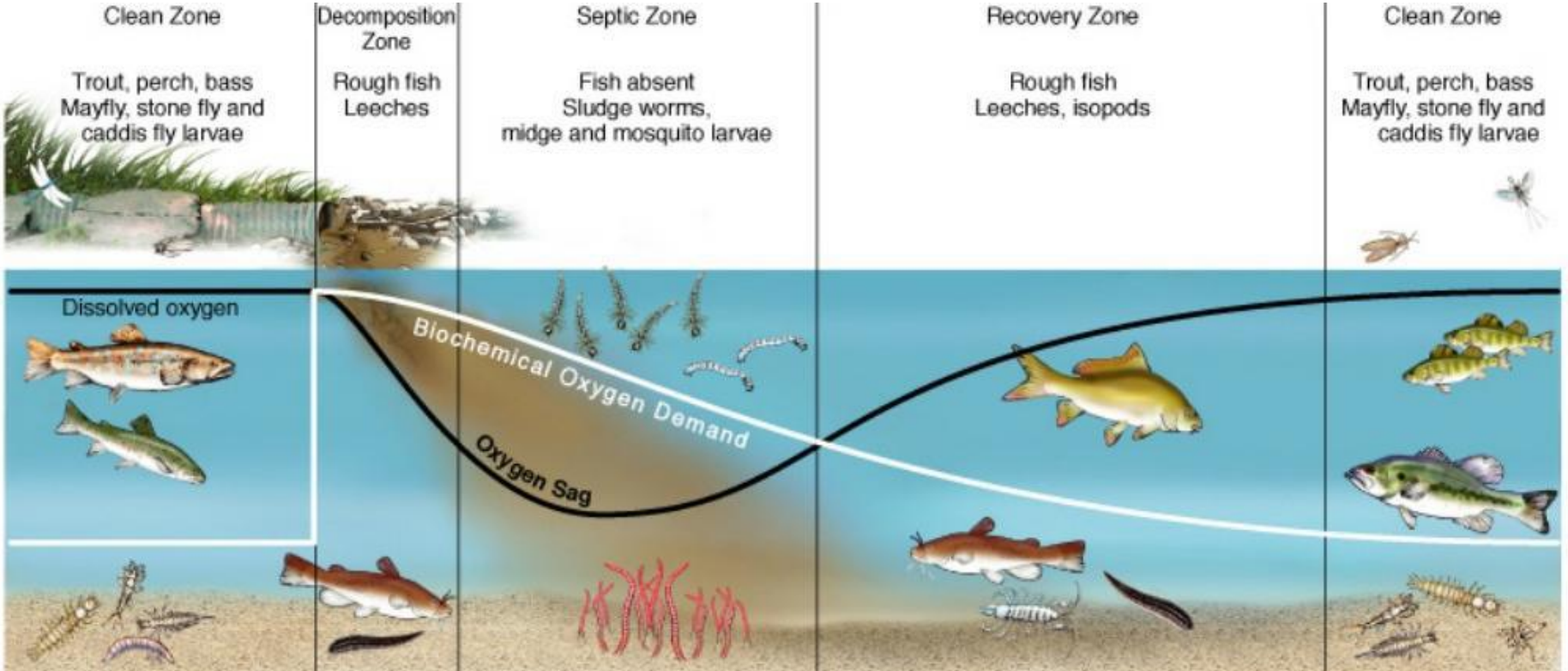
بنابراین برای تعیین ظرفیت پذیرش بار آلودگی آلی در یک بدنه آبی مانند رودخانه، لازم است سه فرآیند رقیق سازی آلاینده ها، مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیزم ها در هنگام تجزیه مواد آلی و ورود اکسیژن به آب از هوا (فرآیند هواگیری) به دقت بررسی شوند.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

این فرآیندها برای اولین بار توسط Streeter and Phelps (1925) به منظور تعیین ظرفیت پذیرش بار آلودگی آلی رودخانه ها بررسی شدند و به اعتقاد بسیاری از دانشمندان این تحقیق اولین گام در ایجاد رشته مهندسی محیط زیست بوده است.

معادلات استریتر و فلپس مبنای مدل های کامپیوتری امروزی برای شبیه سازی تغییرات اکسیژن محلول در رودخانه ها هستند.

منحنی تغییرات اکسیژن محلول (Oxygen Sag) در اثر تخلیه مواد آلی



مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مدلسازی تغییرات غلظت اکسیژن محلول در اثر تخلیه مواد آلی

۱) فرآیند رقیق سازی (Dilution)

پس از تخلیه فاضلاب به رودخانه، در فاصله کوتاهی جریان فاضلاب و رودخانه کاملاً با هم مخلوط می شوند و غلظت آلاینده معمولاً رقیق می شود. در مدلسازی کیفیت آب رودخانه لازم است غلظت رقیق شده محاسبه شود. اینکار با بررسی بیلان جرم آلاینده صورت می گیرد.

ظرفیت رقیق سازی یک جریان با استفاده از موازنه جرم قابل محاسبه است. چنانچه شدت جریان حجمی و غلظت یک ماده معین در جریان اصلی و در جریان تخلیه فاضلاب معلوم باشد، غلظت پس از اختلاط مطابق رابطه زیر محاسبه می گردد:

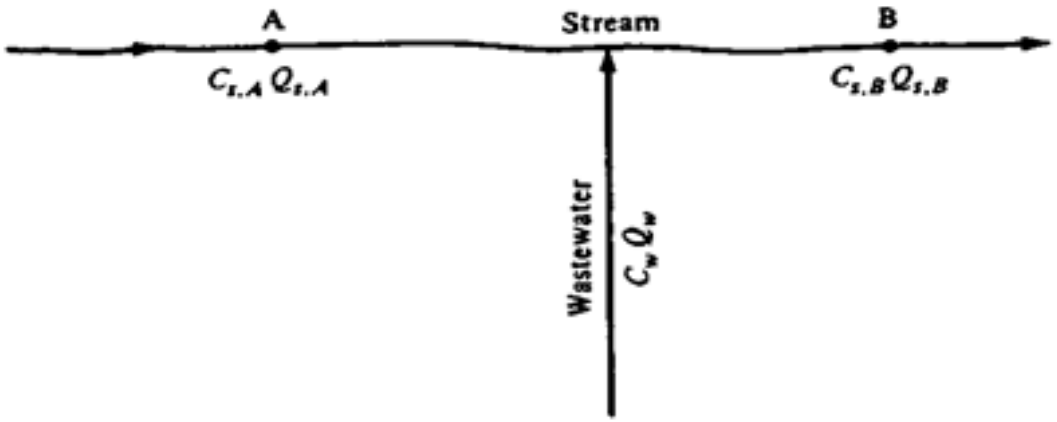
$$C_s Q_s + C_w Q_w = C_m Q_m$$

که در آن:

C: غلظت ماده مورد نظر و Q: شدت جریان حجمی و زیروندهای s، w و m بیانگر مشخصات جریان، فاضلاب و مخلوط می باشد.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مثال) مطابق شکل زیر، یک جریان فاضلاب تصفیه شده به داخل رودخانه ای می ریزد. غلظت سدیم در نقطه A برابر با ۱۰ میلی گرم در لیتر و شدت جریان رودخانه برابر با ۲۰ متر مکعب در ثانیه است. غلظت سدیم در جریان فاضلاب برابر با ۲۵۰ میلی گرم در لیتر و شدت جریان برابر با ۱/۵ متر مکعب در ثانیه است. با فرض اختلاط کامل، غلظت سدیم در نقطه B را تعیین نمائید.



حل) بین نقاط A و B موازنه جرم نوشته می شود:

جرم خروجی= جرم ورودی

$$C_{s,A}Q_{s,A} + C_wQ_w = C_{s,B}Q_{s,B}$$

با توجه به اینکه $Q_{s,B} = Q_{s,A} + Q_w$ می باشد، لذا:

$$C_{s,B} = \frac{C_{s,A}Q_{s,A} + C_wQ_w}{Q_{s,A} + Q_w}$$

با جایگذاری مقادیر عددی داده شده، خواهیم داشت:

$$C_{s,B} = \frac{10 \times 20 + 250 \times 1.5}{20 + 1.5} = 26.7\ mg/L$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

۲) فرآیند هوادهی مجدد (Reaeration)

محاسبه شدت تبادل گاز (مثلاً اکسیژن) بین آب و هوا در سطح آب: شدت انتقال گاز عامل مهمی در هوادهی به شمار می آید. شدت انتقال توسط عوامل متعددی تحت تأثیر قرار می گیرد و از لحاظ ریاضی توسط رابطه زیر بیان می شود:

$$\frac{dC}{dt} = (C_s - C)K_a$$

ثابت مرتبط با شرایط فیزیکی داده شده

شدت لحظه ای تغییر غلظت گاز در داخل مایع

غلظت اشباع

غلظت حقیقی

لازم به ذکر است در حالتی که $C_s < C$ است، گاز دفع می شود.

مقدار K_a به دمای سیستم، سطح تماس موجود بین دو فاز برای انتقال گاز و مقاومت در برابر حرکت از یک فاز به فاز دیگر وابسته است.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

تعریف غلظت کمبود اکسیژن (D)

$$D = C_s - C$$

کمبود اکسیژن محلول

غلظت حقیقی

غلظت اشباع

تمامی واحدها در رابطه فوق بر حسب mg/L اکسیژن است. تحت شرایط تعادلی ثابت، یعنی C_s ثابت، شدت تغییر کمبود اکسیژن برابر است با:

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{dC}{dt}$$

بنابراین شدت افزایش کمبود اکسیژن برابر با شدت مصرف اکسیژن می باشد.

برای هوادهی مجدد، کمبود اکسیژن محلول عامل محرکی است. هر قدر این کمبود بیشتر باشد، شدت هوادهی مجدد افزایش می یابد. همچنین از رابطه فوق چنین استباط می شود که شدت هوادهی مجدد با کاهش غلظت اکسیژن محلول، زیادتر می شود.

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{dC}{dt} \quad \rightarrow \quad \frac{dD}{dt} = -DK_a = -DK_2$$

$$\frac{dC}{dt} = (C_s - C)K_a = DK_a$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مقادیر معمول ضریب هوادهی

مقادیر ضریب هوادهی برای شرایط مختلف رودخانه

شرایط بدنه آبی	بازه تغییرات k_2 در ۲۰ درجه سانتی‌گراد (روز/۱)
آبگیرهای کوچک	۰/۱–۰/۲۳
نهرهای با سرعت کم و دریاچه‌ها	۰/۲۳–۰/۳۵
رودخانه‌های بزرگ با سرعت کم	۰/۳۵–۰/٤٦
رودخانه‌های بزرگ با سرعت متوسط	۰/٤٦–۰/٦۹
رودخانه‌های بزرگ و سریع	۰/٦۹–۱/۱۵
آبشارها و تندآب‌ها	> ۱/۱۵

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

Temperature, °C	Chloride concentration, mg/L				
	0	5,000	10,000	15,000	20,000
0	14.62	13.79	12.97	12.14	11.32
1	14.23	13.41	12.61	11.82	11.03
2	13.84	13.05	12.28	11.52	10.76
3	13.48	12.72	11.98	11.24	10.50
4	13.13	12.41	11.69	10.97	10.25
5	12.80	12.09	11.39	10.70	10.01
6	12.48	11.79	11.12	10.45	9.78
7	12.17	11.51	10.85	10.21	9.57
8	11.87	11.24	10.61	9.98	9.36
9	11.59	10.97	10.36	9.76	9.17
10	11.33	10.73	10.13	9.55	8.98
11	11.08	10.49	9.92	9.35	8.80
12	10.83	10.28	9.72	9.17	8.62
13	10.60	10.05	9.52	8.98	8.46
14	10.37	9.85	9.32	8.80	8.30
15	10.15	9.65	9.14	8.63	8.14
16	9.95	9.46	8.96	8.47	7.99
17	9.74	9.26	8.78	8.30	7.84
18	9.54	9.07	8.62	8.15	7.70
19	9.35	8.89	8.45	8.00	7.56
20	9.17	8.73	8.30	7.86	7.42
21	8.99	8.57	8.14	7.71	7.28
22	8.83	8.42	7.99	7.57	7.14
23	8.68	8.27	7.85	7.43	7.00
24	8.53	8.12	7.71	7.30	6.87
25	8.38	7.96	7.56	7.15	6.74
26	8.22	7.81	7.42	7.02	6.61
27	8.07	7.67	7.28	6.88	6.49
28	7.92	7.53	7.14	6.75	6.37
29	7.77	7.39	7.00	6.62	6.25
30	7.63	7.25	6.86	6.49	6.13

* Saturation values of dissolved oxygen in fresh water and sea water exposed to dry air containing 20.90 percent oxygen by volume under a total pressure of 760 mm of mercury.

تخمین غلظت اشباع اکسیژن محلول در آب (تابعی از دما و غلظت کلراید):

به طور کلی حلالیت گازها در آب با افزایش دما، افزایش شوری و کاهش فشار هوا، کاهش می یابد.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

۳) فرآیند مصرف اکسیژن توسط میکروارگانیزم ها

همانطور که قبلاً اشاره شد، Biochemical Oxygen Demand (BOD) که نشان دهنده میزان اکسیژن مصرفی در حین فرایند تجزیه بیولوژیکی مواد آلی است، می تواند شاخصی از غلظت مواد آلی تجزیه پذیر موجود باشد.

BOD_t، نشان دهنده میزان اکسیژن مصرف شده برای تجزیه مواد آلی در زمان t روز است. این متغیر را با y_t نیز نشان می دهند.

میزان توان مواد آلی موجود برای تجزیه اکسیژن در صورتی که اکسیژن و زمان به اندازه کافی وجود داشته باشد را با $BOD_{u,t}$ یا L_t نشان می دهند.

رابطه تغییرات L_t با زمان:

$$\frac{dL_t}{dt} = -k_1 L_t$$

ثابت واکنش (واحد: یک بر روز)

اکسیژن معادل مواد آلی در زمان t (mg/L)

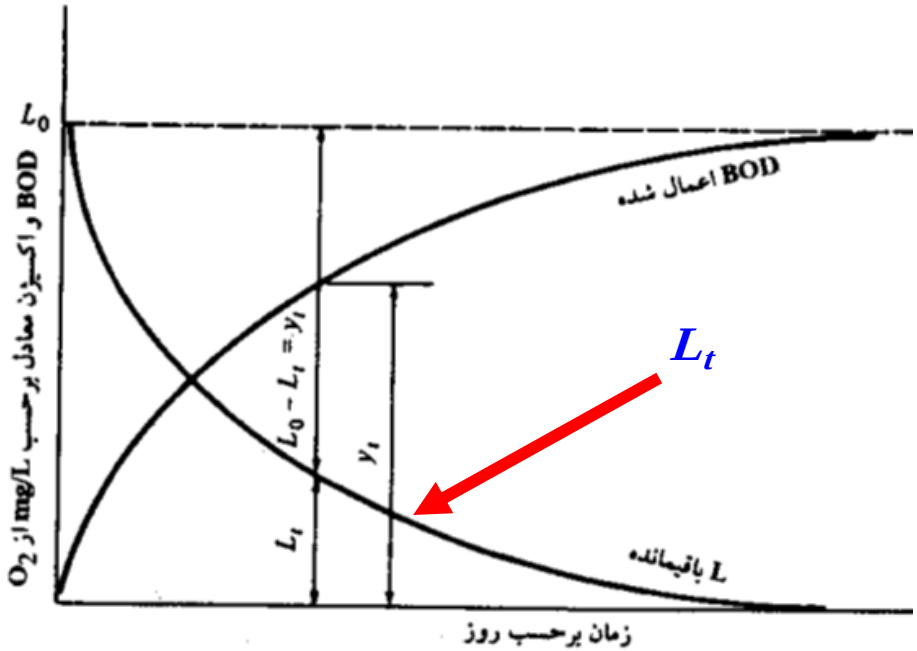
رابطه فوق نشان می دهد نرخ تغییرات توان مصرف اکسیژن مواد آلی در هر زمان تابعی از غلظت آن است.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

با مرتب نمودن رابطه مقابل و انتگرال گیری از آن، می توان به رابطه زیر دست یافت: $\frac{dL_t}{dt} = -k_1 L_t$

$$\int_{L_0}^{L} \frac{dL_t}{L_t} = -k_1 \int_{0}^{t} dt \Rightarrow ln\left(\frac{L_t}{L_0}\right) = -k_1 t \Rightarrow L_t = L_0 e^{-k_1 t}$$

L_0: اکسیژن کل معادل مواد آلی در زمان صفر و L_t بیانگر مقدار باقیمانده اکسیژن در زمان t است که با زمان و به صورت نمایی (مطابق شکل زیر) مستهلک می شود.



ارتباط میان BOD و اکسیژن معادل

تخمین BOD_t (y_t):

$$y_t = L_0 - L_t$$

$$y_t = L_0 - L_0 e^{-k_1 t}$$

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right)$$

مقدار y_t به صورت مجانب به L_0 میل می کند. این نشان دهنده آن است که BOD کل (نهایی)، $\mathbf{BOD}(y_u)$ برابر با معادل اکسیژن اولیه آب L_0 است.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right)$$

مقادیر معمول ضریب زوال BOD (k)

مشخصات آب	$k\ (20^\circ C)$ (۱/روز)
فاضلاب خام	۰/۱۵–۰/۳
آب آلوده رودخانه	۰/۰۵–۰/۱۰
فاضلاب تصفیه شده	۰/۰۵–۰/۱۰

اصلاح مقادیر معمول ضرایب k_1 و k_2 برای دماهای غیر از ۲۰ درجه سلسیوس:

$$k_T = k_{20}\theta^{T-20}$$

مقدار ضریب θ برای k_1 و k_2 به ترتیب ۱/۰۴۷ و ۱/۰۱۶ در نظر گرفته می شود.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مثال) تبدیل $BOD_5 - BOD$ برای یک فاضلاب برابر با ۱۵۰mg/L در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد است. مقدار $k = 0.23d^{-1}$ است. چنانچه آزمایش در دمای $15^{\circ}C$ انجام شود، مقدار BOD_8 برابر با چند است؟

حل)

۱- مقدار BOD نهایی محاسبه می شود:

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right) \Rightarrow L_0 = y_u = \frac{y_5}{\left(1 - e^{-k_1 t}\right)} = \frac{150}{\left(1 - e^{-0.23\times 5}\right)} = 220\, mg/L$$

L_0 یا y_u تابعی از دما نیستند و با تغییر دمای آب تغییری نمی کنند.

۲- تصحیح مقدار k برای دمای $15^{\circ}C$:

$$k_T = k_{20}\theta^{T-20} \Rightarrow k_{15} = 0.23 \times 1.047^{15-20} = 0.18$$

۳- محاسبه مقدار BOD_8 (y_8):

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right) \Rightarrow y_8 = 220\left(1 - e^{-0.18\times 8}\right) = 168\, mg/L$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right) \qquad \frac{dD}{dt} = -DK_2$$

با حل معادلات دیفرانسیل حاصل فوق، معادله زیر که به معادله استریتر-فلپس معروف است به دست می آید:

$$D = \frac{k_1 . L_{c_0}}{k_2 - k_1}\left(e^{-k_1 . t} - e^{-k_2 . t}\right) + D_0 . e^{-k_2 . t}$$

در این رابطه، **t**، زمان حرکت جریان از نقطه تخلیه و تنها متغییر مستقل در این معادله است. زمان حرکت از نقطه تخلیه تا هر نقطه مشخص از بخش پایینی جریان برابر است با:

$$t = \frac{x}{u}$$

که در آن x، مسافتی که جریان می پیماید و u برابر است با سرعت جریان. **t**، همیشه باید بر حسب روز بیان شود. با جایگذاری مقادیر **t** یا $\frac{x}{u}$ در رابطه $D = \frac{k_1 . L_{c_0}}{k_2 - k_1}\left(e^{-k_1 . t} - e^{-k_2 . t}\right) + D_0 . e^{-k_2 . t}$ ، مقدار **D** برای هر نقطه مشخص در جریان بدست می آید.

در معادله فوق D نشان‌دهنده میزان کمبود اکسیژن نسبت به حالت اشباع است و در صورتی که رابطه فوق مقدار بزرگتری از میزان اکسیژن اشباع را به دست دهد (غلظت‌های اکسیژن محلول منفی)، میزان غلظت اکسیژن محلول برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

با توجه به منحنی تغییرات غلظت اکسیژن محلول در طول رودخانه، پایین‌ترین نقطه در منحنی افت اکسیژن، که معرف بحرانی‌ترین شرایط کیفیت آب از نظر متغیر اکسیژن محلول می‌باشد، بیشتر از بقیه نقاط مورد توجه قرار می‌گیرد. زمان رسیدن به این نقطه که زمان بحرانی (t_c) نام دارد را می‌توان از طریق مشتق‌گیری از معادله

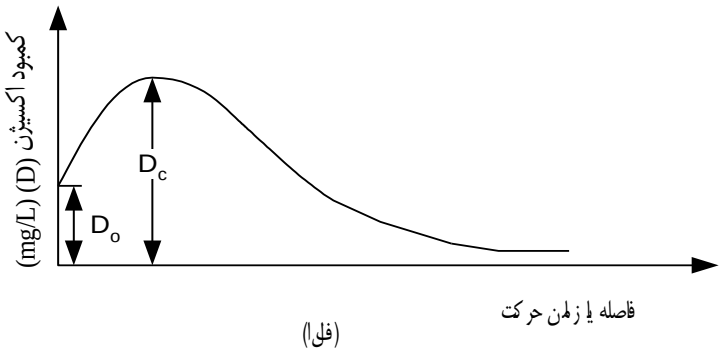
$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1}\left(e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}\right) + D_0 e^{-k_2 . t}$$

و مساوی قرار دادن آن با صفر به صورت زیر به دست آورد:

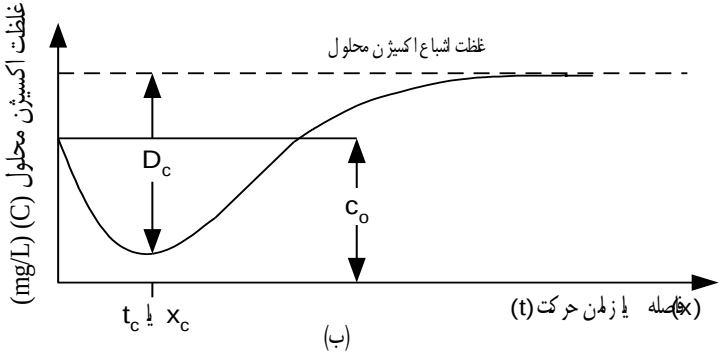
$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} ln\left[\frac{k_2}{k_1}\left(1 - D_0 \times \frac{k_2 - k_1}{k_1 L_0}\right)\right]$$

مقدار کمبود اکسیژن بحرانی (D_c) را می‌توان با قرار دادن t_c در معادله اولیه محاسبه نمود.

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c}$$



(ف‌ا)



(ب)

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مثال) یک واحد تصفیه فاضلاب شهری، جریان خروجی ثانوی خود را به درون یک جریان آب سطحی تخلیه می کند. بدترین شرایط رودخانه در فصل تابستان یعنی زمانی که دبی جریان آب اندک و دمای آب زیاد است، رخ می دهد. تحت این شرایط، اندازه گیری ها در آزمایشگاه و در محل برای تعیین خصوصیات دبی های فاضلاب و جریان رودخانه صورت می گیرند. مطابق نتایج بدست آمده، فاضلاب دارای حداکثر دبی جریان معادل ۱۵۰۰۰ متر مکعب در روز، BOD_5 معادل ۴۰ mg/L، غلظت اکسیژن محلول برابر با ۲ mg/L و دمای $25^{\circ}C$ می باشد. جریان آب (در بخش بالایی از نقطه تخلیه فاضلاب) دارای حداقل دبی $0.5\ m^3/s$ ، BOD_5 برابر با ۳ mg/L، غلظت اکسیژن محلول ۸ mg/L، و دمای $22^{\circ}C$ است. اختلاط کامل فاضلاب و جریان آب تقریباً آنی بوده و سرعت اختلاط برابر با $0.2\ m/s$ است، برای شرایط دمایی $20^{\circ}C$ از رژیم جریان مقدار ثابت هوادهی مجدد در حدود $0.4d^{-1}$ بدست می آید. منحنی تغییرات اکسیژن محلول را در طول ۱۰۰ کیلومتر رودخانه پس از تخلیه فاضلاب ترسیم نمائید.

حل)

۱- تعیین خصوصیات جریان مخلوط آب و فاضلاب

$$Q_w = 15000\,m^3/day = 0.17\,m^3/s$$

$$Q_{mix} = 0.17 + 0.5 = 0.67\,m^3/s$$

۲- محاسبه BOD جریان فاضلاب مختلط شده:

$$y_{mix} = \frac{y_s Q_s + y_w Q_w}{Q_s + Q_w} = \frac{3 \times 0.5 + 40 \times 0.17}{0.67} = 12.4\,mg/L$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

۳- محاسبه BOD نهایی (با فرض آنکه $k_1 = 0.23d^{-1}$ برای مخلوط باشد) برابر است با:

$$y_t = L_0\left(1 - e^{-k_1 t}\right) \Rightarrow L_0 = y_u = \frac{y}{(1 - e^{-k_1 t})} = \frac{12.4}{(1 - e^{-0.23\times5})} = 18.2\ mg/L$$

۴- اکسیژن محلول جریان فاضلاب مختلط شده برابر است با:

$$DO_{mix} = \frac{8 \times 0.5 + 2 \times 0.17}{0.67} = 6.5\ mg/L$$

۵- دمای محلول جریان فاضلاب مختلط شده برابر است با:

$$T_{mix} = \frac{22 \times 0.5 + 25 \times 0.17}{0.67} = 22.8^{\circ}C$$

۶- تصحیح ثابت های واکنش برای دما:

الف) تصحیح شدت واکنش BOD

$$\boldsymbol{k_T = k_{20}\theta^{T-20} \Rightarrow k_{22.8} = 0.23 \times 1.047^{22.8-20} = 0.26\ d^{-1} = k_1}$$

ب) تصحیح شدت هوادهی مجدد جریان برابر است با:

$$\boldsymbol{k_T = k_{20}\theta^{T-20} \Rightarrow k_{22.8} = 0.4 \times 1.016^{22.8-20} = 0.42\ d^{-1} = k_2}$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

۷) محاسبه کمبود اکسیژن اولیه

در دمای $T_{mix} = 22.8^{\circ}C$ (غلظت تعادلی اکسیژن در آب شیرین برابر است با ۸/۷ mg/L):

$$D_0 = 8.7 - 6.5 = 2.2\ mg/L$$

۸) محاسبه کمبود بحرانی اکسیژن و تعیین محل آن

الف)

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} ln\left[\frac{k_2}{k_1}\left(1 - D_0 \times \frac{k_2 - k_1}{k_1 L_0}\right)\right] = \frac{1}{0.42 - 0.26} ln\left[\frac{0.42}{0.26}\left(1 - 2.2 \times \frac{0.42 - 0.26}{0.26 \times 18.2}\right)\right]$$
$$= 2.5\ day$$

ب)

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c} = \frac{0.26}{0.42} \times 18.2 e^{-0.26 \times 2.5} = 5.9\ mg/L$$

ج) این شرایط در فاصله ای برابر با مقدار زیر از محل تخلیه فاضلاب در پایین دست رخ می دهد:

$$x = 0.2 \frac{m}{s} \times 86400 \frac{s}{day} \times 2.5 day = 43.2\ km$$

۹) محاسبه زمان و مقدار کمبود اکسیژن در نقاط ۲۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلومتری از محل تخلیه فاضلاب:

$$t = \frac{x\ (km)}{u\ (\frac{km}{day})} \quad , \qquad u = 0.2 \frac{m}{s} \times 86400 \frac{s}{day} \times \frac{1km}{1000m} = 17.3 km/day$$

$$t_{20} = \frac{20}{17.3} = 1.16\ day\ , t_{75} = \frac{75}{17.3} = 4.3\ day\ , \qquad t_{100} = \frac{100}{17.3} = 5.8\ day$$

مواد آلی (ORGANIC MATTER)

مقدار کمبود اکسیژن در زمان های محاسبه شده برابر است با:

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1}\left(e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}\right) + D_0 e^{-k_2 . t}$$

$$D_{20} = \frac{0.26 \times 18.2}{0.42 - 0.26}\left(e^{-0.26\times 1.16} - e^{-0.42\times 1.16}\right) + 2.2e^{-0.42\times 1.16} = 5.1\frac{mg}{L}$$

$$D_{75} = 5.2\ \text{mg/L}$$

$$D_{100} = 4.1\ \text{mg/L}$$

۱۰) محاسبه مقدار اکسیژن محلول در نقاط ۲۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلومتری از محل تخلیه فاضلاب:

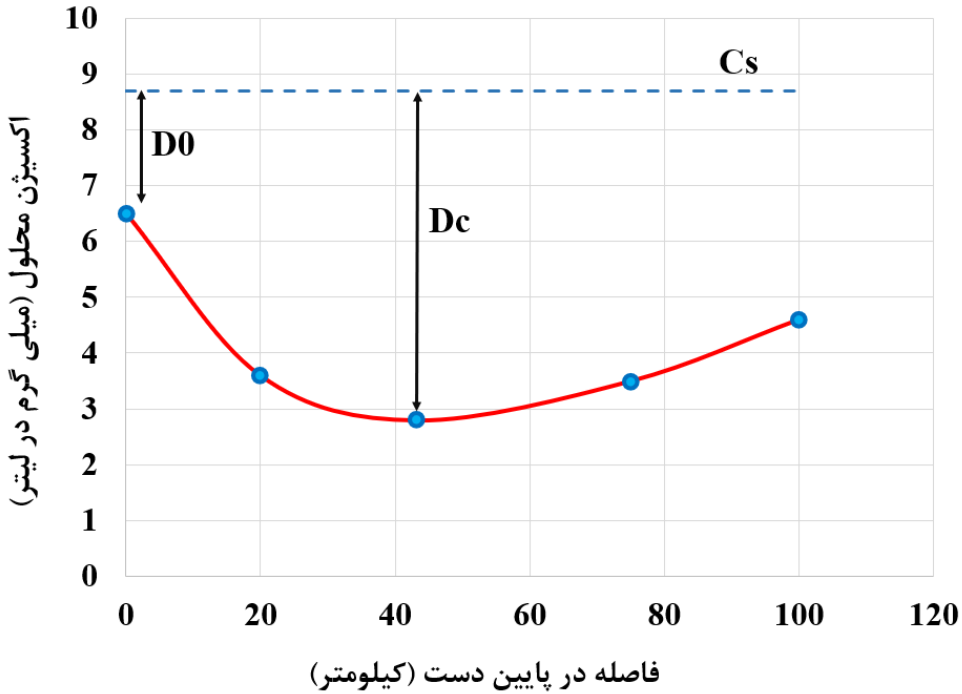
با ترسیم مکان در برابر مقدار اکسیژن محلول، تغییرات اکسیژن محلول در آب بدست می آید:

$$C_{20} = 8.7 - 5.1 = 3.6\frac{mg}{L}$$

$$C_{43.2} = 8.7 - 5.9 = 2.8\frac{mg}{L}$$

$$C_{75} = 8.7 - 5.2 = 3.5\frac{mg}{L}$$

$$C_{100} = 8.7 - 4.1 = 4.6\frac{mg}{L}$$



مواد آلی (ORGANIC MATTER)

Chemical Oxygen Demand (COD)

متغیر کیفی BOD شاخصی از مواد آلی تجزیه پذیر توسط میکروارگانیزم ها است مشروط به اینکه به علت شرایط نامناسب محیط مانند وجود مواد سمی، میکروارگانیزم ها امکان تکثیر داشته باشند.

متغیری که شاخصی از کل مواد آلی تجزیه پذیر و تجزیه ناپذیر توسط میکروارگانیزم هاست، متغیر اکسیژن خواهی شیمیایی است. این متغیر اکسیژن لازم برای تجزیه شیمیایی کامل مواد آلی موجود در نمونه را نشان می دهد. بنابراین مقدار COD همواره بزرگتر یا مساوی BOD است.

در آزمایش COD، مواد آلی به علت جوشانده شدن با یک اسید قوی، تخریب می شوند و به راحتی می توانند با یک ماده اکسید کننده مانند دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) واکنش دهند. میزان ماده اکسیدکننده مصرف شده، شاخصی از میزان اکسیژن خواهی این واکنش شیمیایی است.

زمان انجام این آزمایش حدود دو ساعت است. بنابراین نسبت به آزمایش ۵ روزه BOD5 برتری دارد.

بنابراین گاهی مهندسین به جای BOD، متغیر کیفی COD را اندازه گیری می کنند و با استفاده از رابطه بین BOD و COD، مقدار BOD را تخمین می زنند.

متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

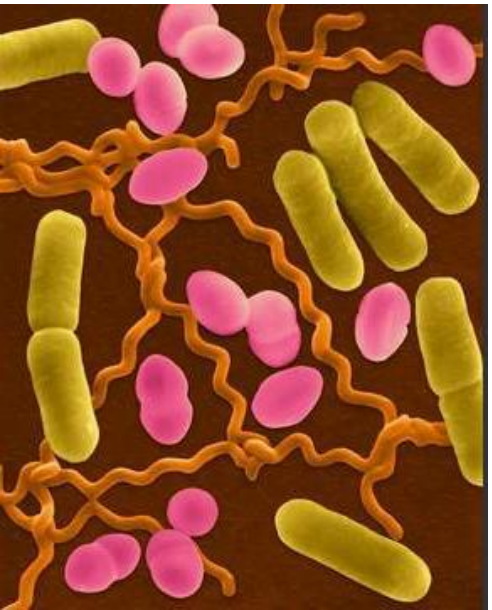
متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

این متغیرهای کیفیت آب، احتمال بیماری زایی آب را به علت وجود میکروارگانیزم های بیماری زا نشان می دهند. به میکروارگانیزم های بیماری زا، پاتوژن (Pathogens) می گویند.

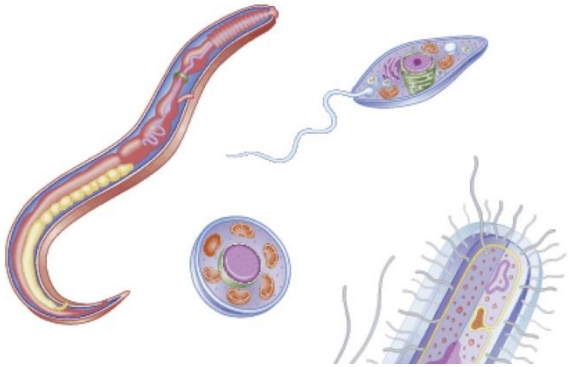
میکروارگانیزم های (Microorganisms) اصلی موجود در آب:

۱- باکتریها (Bacteria)، مشخصات عمومی:

- تک سلولی اند.
- از مواد غذایی محلول استفاده می کنند.
- به شکل های میله ای (باسیل)، کروی (کوکسی) و مارپیچی (اسپریل) یافت می شوند.
- تولید مثل آنها به صورت تقسیم سلولی است.
- بزرگترین بعد یک باکتری معمولاً کوچکتر از ۱۵ میکرومتر است.

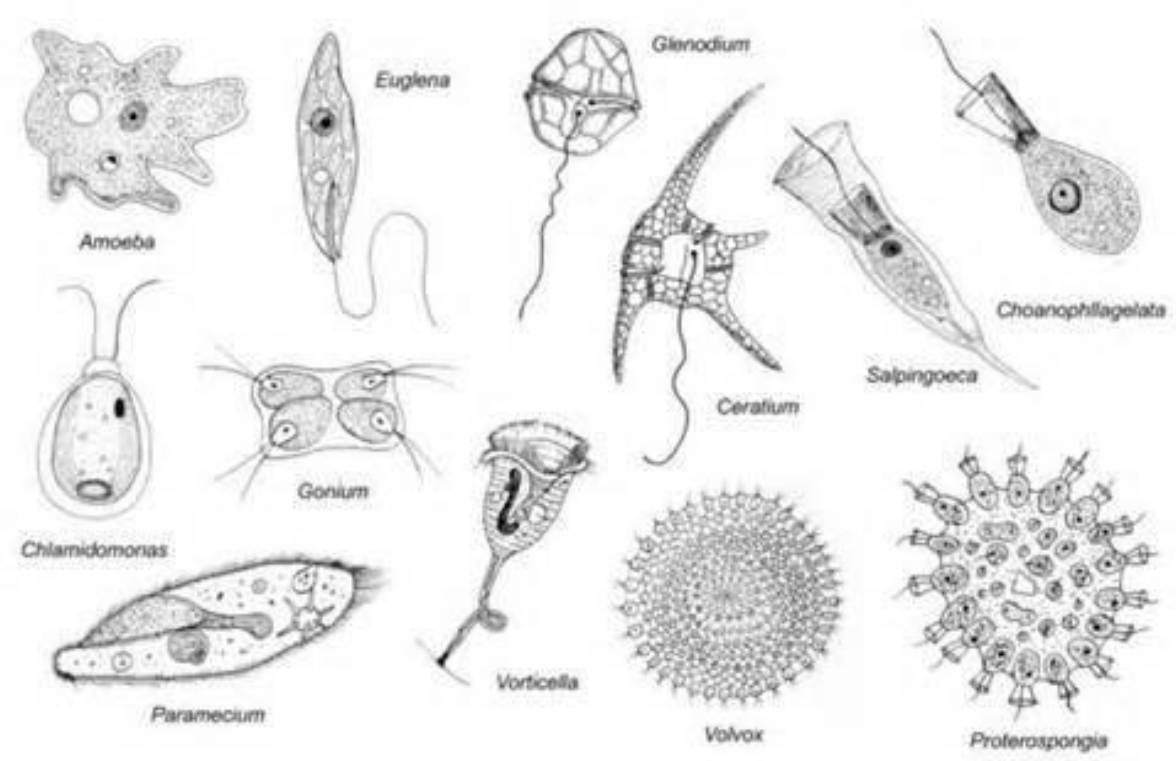


متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب



۲- پروتوزوا (Protozoa)، مشخصات عمومی:

- **ده تا صد برابر بزرگتر از باکتری ها هستند.**
- **از مواد آلی جامد مانند باکتری ها به عنوان غذا استفاده می کنند.**
- **از پروتوزاهای مهم می توان به گروه های آمیب ها، تاژکداران و مژکداران اشاره کرد.**



متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

۳- قارچ ها (Funguses, Fungi)، مشخصات عمومی:

- **چند سلولی و بزرگتر از باکتری ها هستند.**
- **هوازی اند (نیاز به اکسیژن دارند).**
- **ماده غذایی آنها، مواد آلی است و به راحتی می توانند مواد آلی را به ساختارهای ساده تر تجزیه کنند.**
- **فاقد کلروفیل هستند (فتوسنتز کننده نیستند) بنابراین در طبقه گیاهان قرار نمی گیرند.**

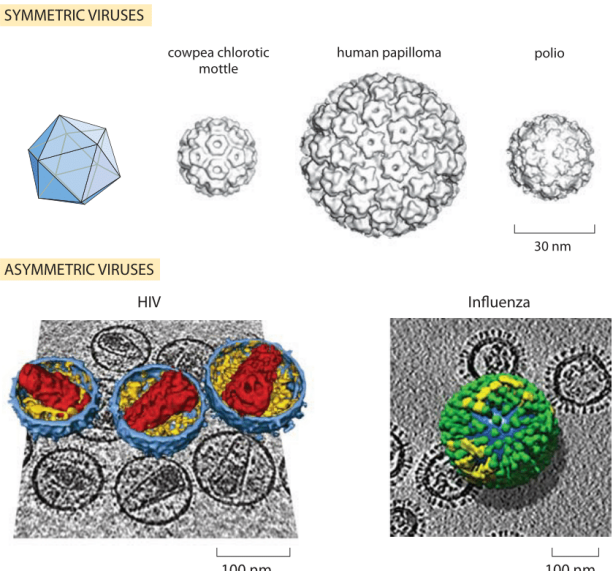
Fungi (yeasts and mold)

قارچ (مخمرها و کپک)

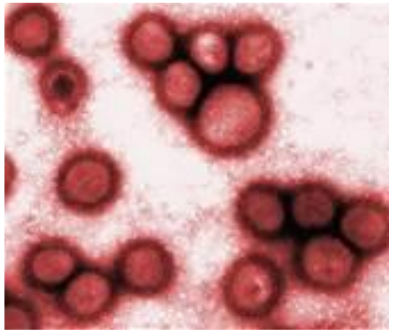
متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

۴- ویروس ها (Viruses)، مشخصات عمومی:

- **کوچکترین ساختار بیولوژیکی را دارند. ویروس، قطعه ای از نوکلئیک اسید است که درون یک پوشش پروتئینی محصور شده است. نوکلئیک اسید شامل DNA و RNA هستند و مشخصات ژنتیکی را منتقل می کنند.**
- **اندازه آنها بین ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر است.**
- **زندگی انگلی دارند و برای بقا نیاز به یک میزبان دارند (مثلاً خون)**
- **دارای غشای سلولی هستند ولی در داخل غشا، متابولیسمی صورت نمی گیرد و رشد نمی کنند. تکثیر آنها معمولاً پس از نفوذ به سلول های میزبان، با استفاده از قابلیت های تکثیر سلول های میزبان صورت می گیرد.**
- **عامل بیماری های مهمی مانند فلج اطفال، هپاتیت و آنفلوآنزا هستند.**



Viruses (20 – 100 nanometers)



متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

۵- جلبکها (Algae)، مشخصات عمومی:

- جلبک ها ساده ترین موجودات دارای کلروفیل هستند. جلبک ها فاقد ساقه، ریشه و برگ هستند. در طبیعت جلبک ها در محیط های گوناگون یافت می شوند. آب محیطی است که بیشترین جلبک ها را در خود جای داده است.
- پیکر جلبک ها از ریسه تشکیل شده است. ریسه یا تال به ساختارهای ساده ای گفته می شود که بر خلاف گیاهان عالی به صورت ریشه، ساقه و برگ تمایز نیافته اند. اندازه ریسه در جلبک ها از چند میکرون تا چندین متر می رسد.
- یک گونه از جلبک ها که جلبک های سبز-آبی یا سیانوباکتر (به علت شباهت به باکتری ها) نامیده می شوند، می توانند سم تولید کنند و وجود این جلبک ها در آب می تواند آب را برای شرب انسان و جانوران غیرقابل استفاده کند. ابعاد این جلبک در حد چند میکرون است.

Algae (single cells to visible branched forms)

متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

مشخصات یک میکروارگانیزم شاخص ایده آل

میکروارگانیزم هایی که تا حد زیادی خصوصیات میکروارگانیزم شاخص را دارند، باکتریهای کلی فرم (Coliform Bacteria) هستند. معمولاً باکتریهای کلی فرم کل (Total Coliform)، باکتری های کلی فرم گوارشی کل (Feacal Coliform) و اشرشیاکلی (Escherichia Coli) به عنوان میکروارگانیزم های شاخص اندازه گیری می شوند.

از آنجا که برخی از باکتری های کلی فرم در خاک نیز وجود دارند اگر اختلاف مقادیر اندازه گیری شده باکتری های کلی فرم کل (TC) و باکتری های گوارش کل (FC)، زیاد باشد، فرسایش یا زهاب های کشاورزی نیز سهم مهمی در آلوده سازی آب دارند. در غیر این صورت آلودگی مشاهده شده ناشی از تخلیه فاضلاب های شهری یا استفاده از کودهای حیوانی است.

Worms (herminths)

متغیرهای بیولوژیکی کیفیت آب

روشها و واحد اندازه گیری باکتری های کلی فرم

باکتری های کلی فرم را می توان به دو روش فیلتر غشایی و تخمیر چند لوله ای اندازه گیری کرد.

- **در صورتی که روش اندازه گیری فیلتر غشایی باشد، نتیجه با واحد Colony Forming Unit/100mL (cfu/100mL) بیان می شود. در روش اندازه گیری دوم، نتیجه با واحد Most Probable Number /100ml (MPN/100mL) بیان می شود.**

بر اساس استاندارد آب شرب ایران، در آب شرب نباید باکتری اشرشیاکلی یا کلیفرم های گوارشی وجود داشته باشد. معمولاً برای آب رودخانه یا آبی که برای آبیاری فضای سبز استفاده می شود حد مجاز باکتری های کلی فرم کل برابر با ۱۰۰۰ MPN/100mL می باشد.

اگرچه استفاده از میکروارگانیزم های شاخص مانند باکتری های کلیفرم در عمل کارایی بسیار خوبی داشته است ولی ممکن است آب به ویروس ها یا میکروارگانیزم های بیماری زای دیگری آلوده شده باشد ولی با اندازه گیری میکروارگانیزم های شاخص، این موضوع تشخیص داده نشود.

به علت محدودیت میکروارگانیزم های شاخص و همچنین محدودیت پایش کامل آب، شبکه های توزیع آب شهری در برابر حملات تروریستی بیولوژیکی بسیار آسیب پذیر هستند.